



Научная статья
УДК 612.178
DOI: 10.37482/2687-1491-Z259

Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции

Ольга Владиславовна Балберова* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5513-6384>
Евгений Витальевич Быков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*Уральский государственный университет физической культуры
(Челябинск, Россия)

Аннотация. Вегетативная нервная система, посредством взаимодействия симпатической и парасимпатической модуляции, детерминирует адаптацию к физической нагрузке различной метаболической направленности. Применение мониторинга спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма на разных этапах тренировочного процесса позволяет оценить баланс между парасимпатическими и симпатическими влияниями вегетативной нервной системы и служит одним из эффективных инструментов для определения состояний адаптации/дезадаптации к тренировочным воздействиям. **Цель** работы – изучение особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на различные дистанции, на разных этапах тренировочного процесса. **Материалы и методы.** В исследовании участвовали кандидаты в мастера спорта, мастера спорта и мастера спорта международного класса мужского пола ($n = 123$; легкая атлетика, конькобежный спорт). Возраст испытуемых варьировал от 18 до 25 лет (средний возраст – $20,3 \pm 3,1$ года; стаж занятий – не менее 5 лет). В зависимости от соревновательной дистанции они были разделены на три группы: спринтеры ($n = 40$); средневики ($n = 38$); стайеры ($n = 45$). Мониторинг спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма осуществлялся с помощью прибора «Поли-Спектр-8/EX» (ООО «Нейрософт», Россия) на разных этапах тренировочного процесса. **Результаты.** Полученные данные продемонстрировали, что функциональный оптимум в условиях тренировочной и соревновательной деятельности у легкоатлетов и конькобежцев достигается благодаря особенностям вегетативного обеспечения: в беге на короткие дистанции – за счет активации симпатического отдела вегетативной нервной системы; в беге на средние дистанции – за счет увеличения удельного веса очень низкочастотных волн в общей мощности спектра; в беге на длинные дистанции – за счет автономной регуляции сердечного ритма. Вероятно, отмеченные механизмы вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов с разной метаболической направленностью нагрузок могут являться предикторами успешной адаптации к тренировочным воздействиям.

© Балберова О.В., Быков Е.В., 2025

Ответственный за переписку: Ольга Владиславовна Балберова, адрес: 454080, г. Челябинск, ул. Труда, д. 168; e-mail: olga-balberova@mail.ru

Ключевые слова: беговые спортивные дисциплины, метаболическая направленность тренировочного процесса, вегетативная регуляция, вариабельность сердечного ритма, спектральные показатели ритма сердца, симпатическая модуляция, парасимпатическая модуляция, предикторы адаптации к тренировочным нагрузкам

Для цитирования: Балберова, О. В. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции / О. В. Балберова, Е. В. Быков // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 399-408. – DOI 10.37482/2687-1491-Z259.

Original article

Autonomic Heart Rate Regulation in Athletes Specializing in Racing Different Distances

Olga V. Balberova* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5513-6384>

Evgeniy V. Bykov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

*The Urals State University of Physical Culture
(Chelyabinsk, Russia)

Abstract. The autonomic nervous system, through the interaction between sympathetic and parasympathetic modulation, determines adaptation to various types of training. Monitoring the spectral characteristics of heart rate variability during different phases of the training cycle allows us to assess the balance between the parasympathetic and sympathetic influences of the autonomic nervous system and is a useful tool for determining the states of adaptation/maladaptation to training effects. The **purpose** of this paper was to study autonomic heart rate regulation in athletes specializing in racing different distances, during different phases of the training cycle. **Materials and methods.** The research involved male Candidates for Master of Sport, Masters of Sport, and International Masters of Sport ($n = 123$; athletics and speed skating) aged between 18 and 25 years (mean age 20.3 ± 3.1 years; length of training 5 years and more). The subjects were divided into 3 groups: sprinters ($n = 40$), middle-distance runners ($n = 38$) and long-distance runners ($n = 45$). Spectral characteristics of heart rate variability were monitored during different phases of the training cycle using the Poly-Spectrum-8/EX digital ECG system (Neurosoft, Ivanovo, Russia). **Results.** The data obtained indicate that during training and competitions, the functional optimum in track and field athletes and speed skaters is achieved through autonomic function: in sprinters, due to the activation of the sympathetic department; in middle-distance runners, due to an increase in the share of very low frequency waves; in long-distance runners, due to autonomic heart rate regulation. Presumably, the noted mechanisms of autonomic heart rate regulation in athletes specializing in different types of sports can be predictors of successful adaptation to training effects.

Keywords: running disciplines, types of training, autonomic regulation, heart rate variability, spectral HRV parameters, sympathetic modulation, parasympathetic modulation, predictors of adaptation to training loads

For citation: Balberova O.V., Bykov E.V. Autonomic Heart Rate Regulation in Athletes Specializing in Racing Different Distances. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 4, pp. 399–408. DOI: 10.37482/2687-1491-Z259

Corresponding author: Olga Balberova, address: ul. Truda 168, Chelyabinsk, 454080, Russia; e-mail: olga-balberova@mail.ru

Беговые дисциплины в циклических видах спорта (в т. ч. в легкой атлетике и конькобежном спорте) предполагают прохождение разных дистанций, каждая из которых предъявляет специфические требования к биохимическому, энергетическому, вегетативному и другим аспектам подготовки спортсменов [1]. Исходя из этого, специфика соревновательной дистанции будет определять степень вовлечения тех или иных функциональных систем в достижение высокого спортивного результата и формировать направленность адаптационных реакций.

Одной из важнейших детерминант тренировочной адаптации является вегетативная регуляция, отражающая степень физиологического приспособления организма спортсмена к предъявляемым нагрузкам [2–4]. Учет вариабельности сердечного ритма (ВСР) у спортсменов с различной метаболической направленностью тренировочного процесса, а именно изучение спектральных параметров ВСР, позволит оценить взаимодействие контуров управления вегетативным обеспечением спортивной деятельности, а также баланс между симпатической и вагусной модуляцией [5]. В процессе адаптации к тренировочным режимам спектральные параметры ВСР изменяются в зависимости от объема и интенсивности физических нагрузок, что соотносится с достижением оптимальных функционального состояния организма и его компенсаторно-приспособительного ответа [4].

Несмотря на многочисленные исследования ВСР, в клинической практике ритмокардиография (РКГ) в большей мере применяется для прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений при занятиях спортом, а также для оценки прогрессирования сердечно-сосудистых заболеваний [6]. Однако поиск физиологических маркеров, способных точно охарактеризовать статус спортивной подготовки и особенности вегетативной регуляции (взаимодействия контуров управления вегетативным обеспечением) на разных этапах тренировочного процесса у спортсменов с разной

метаболической направленностью тренировочных и соревновательных нагрузок, является важной и актуальной проблемой спортивной физиологии и представляет собой одно из необходимых условий научного подхода к управлению тренировочной и соревновательной деятельностью.

Цель исследования – определение особенностей вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на различные дистанции, на разных этапах тренировочного процесса.

Материалы и методы. Работа проводилась на базе лаборатории функциональной диагностики Научно-исследовательского института олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры (УралГУФК). Дизайн эксперимента разработан с учетом основных этических принципов Хельсинкской декларации (редакция 2013 года) и утвержден этическим комитетом УралГУФК (приказ № 5/01 от 14.01.2022).

В исследовании участвовали спортсмены мужского пола с разной спортивной квалификацией: кандидаты в мастера спорта, мастера спорта и мастера спорта международного класса мужского пола ($n = 123$; легкая атлетика, конькобежный спорт). Возраст участников варьировал от 18 до 25 лет (средний возраст – $20,3 \pm 3,1$ года), стаж занятий спортом составлял не менее 5 лет. Всеми спортсменами было подписано информированное согласие на участие в исследовании.

В зависимости от соревновательной дистанции и, соответственно, метаболической направленности тренировочного процесса они были разделены на три группы: спринтеры ($n = 40$) – анаэробная алактатная и анаэробная гликолитическая нагрузка; средневики ($n = 38$) – смешанная анаэробная гликолитическая и аэробная нагрузка; стайеры ($n = 45$) – преимущественно аэробная нагрузка. В указанные группы были включены конькобежцы ($n = 42$), специализирующиеся в беге на короткие (500 м), средние (1500 м) и длинные (5000 м) дистанции, и легкоатлеты ($n = 81$), специализирующиеся в беге

на короткие (200–400 м), средние (800–1500 м) и длинные (5000–10000 м) дистанции.

Измерение антропометрических параметров, в т. ч. роста (см) и массы тела (кг), проводилось с помощью калиброванных приборов – ростомера и весов (Seca 220/221, ООО «Специал-Медика», Россия). Рассчитывался индекс массы тела по формуле Кетле (ИМТ, кг/м²). Мониторинг спектральных характеристик ВСР осуществлялся с помощью прибора «Поли-Спектр-8/EX» (ООО «Нейрософт», Россия) в общий подготовительный (начало сезона), соревновательный, а также в восстановительный (первая неделя после соревнований) периоды. Были исследованы следующие показатели РКГ: общая мощность спектра (TP, мс²); мощность высокочастотных (HF, мс²), низкочастотных (LF, мс²) и очень низкочастотных (VLF, мс²) волн; отношение LF/HF (у. е.); индекс напряжения регуляторных систем (ИН, у. е.).

Статистический анализ проводился при помощи программы SPSS Statistics v22.0 (StatSoft, США). Нормальность распределения исследуемых параметров определялась с использованием критерия Шапиро–Уилка. Поскольку статистическое распределение параметров РКГ имело асимметричный характер, результаты анализа данных представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей, соответствующих 25-му и 75-му перцентилям, – $Me [Q_1; Q_3]$. Статистическая значимость различий выявлялась с помощью U -критерия Манна–Уитни при сравне-

нии межгрупповых переменных и Z -критерия Уилкоксона при сравнении переменных внутри группы. Антропометрические данные спортсменов представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое значение; SD – стандартное квадратичное отклонение. Межгрупповые различия признавались как статистически значимые при $p < 0,05$.

Результаты. Статистически значимых различий по основным антропометрическим показателям между спортсменами в зависимости от специализации не выявлено (табл. 1).

ТР, отражающая широту гомеостатического диапазона организма человека, увеличивалась с ростом соревновательной дистанции (табл. 2): у спринтеров она составляла 3692,2 мс², у средневики – 4705,4 мс², у стайеров – 6838,5 мс²; статистически значимые различия зарегистрированы между спринтерами и стайерами. Высокая ВСР, а значит, и высокое число «степеней свободы» у стайеров способствуют достижению функционального оптимума при физических нагрузках в зоне большой и умеренной мощности большой продолжительности.

В исследованиях российских и зарубежных авторов продемонстрировано, что спектральные характеристики ритмокардиограммы являются чувствительными маркерами, отражающими реакцию регуляторных систем организма на совокупный вклад действия эндогенных и экзогенных факторов [7–9]. Вне зависимости от специфики тренировок, у спорт-

Таблица 1

Антропометрическая характеристика спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции ($n = 123$), $M \pm SD$

Anthropometric characteristics of athletes specializing in racing different distances ($n = 123$), $M \pm SD$

Показатель	Спринтеры ($n = 40$)	Средневики ($n = 38$)	Стайеры ($n = 45$)
Рост, см	183,00±6,43	180,22±5,66	182,76±5,16
Масса тела, кг	77,01±9,04	73,42±7,32	70,54±5,11
Индекс массы тела по Кетле, кг/м ²	22,92±1,94	22,12±1,94	21,09±1,28

Примечание. Статистически значимые различия по всем показателям не обнаружены ($p > 0,05$).

сменов на подготовительном этапе в общем спектре ритма сердца преобладали HF-волны (табл. 2), которые отражают парасимпатическую составляющую автономного контура регуляции. Преобладание HF-волн в общем спектре сердечного ритма имело статистически значимые межгрупповые различия, самые высокие значения данного показателя отмечены у стайеров – 39,3 % против 34,4 и 28,8 % у спринтеров и средневики соответственно. Относительная мощность VLF-волн у бегунов на длинные дистанции составила 26,9 %, что было статистически значимо ниже, чем у бегунов на короткие и средние дистанции (31,3 и 34,9 % соответственно).

Существуют различные точки зрения, описывающие механизм воздействия низкочастотных колебаний – в частности, Р.М. Баевский, А.Г. Черникова и Б.А. Жгир, О.Н. Кудря указывают на взаимосвязь данных волн с процессами ресинтеза аденозинтрифосфата [10, 11].

Относительная мощность LF-волн у бегунов на короткие, средние и длинные дистанции составила 34,3; 28,5 и 28,6 % соответственно, т. е. у спринтеров вклад LF-волн в TP был статистически значимо выше, чем у средневики и стайеров. Отношение LF/HF, отражающее баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, статистически значимо снижалось по мере увеличения дистанции (у спринтеров – 1,03 у. е., у средневики – 0,99 у. е., у стайеров – 0,77 у. е.) (табл. 2).

С увеличением интенсивности тренировочных воздействий в соревновательный период у спринтеров отмечена выраженная активация симпатического отдела ($VLF < LF > HF$): возрос относительный вклад LF-волн ($p = 0,0027$) за счет снижения вклада HF-волн ($p = 0,0051$) без существенного изменения относительной мощности VLF-волн, отношение LF/HF увеличилось с 0,93 до 2,05 у. е. (на 120,4 %)

Таблица 2

Спектральный анализ ВСР у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции, в подготовительный период тренировочного цикла, $Me [Q_1; Q_3]$
Spectral analysis of heart rate variability in athletes specializing in racing different distances during the preparatory phase of the training cycle, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Спринтеры ($n = 40$) (1)	Средневики ($n = 38$) (2)	Стайеры ($n = 45$) (3)	Z, p
TP, mc^2	3692,2 [2356; 5979]	4705,4 [2424; 6955]	6838,5 [4467; 10889]	$Z_{1-3} = 6,621; p = 0,0001$ $Z_{2-3} = 4,111; p = 0,0039$ $Z_{1-2} = 4,328; p = 0,0015$
HF, %	33,4 [21,3; 42,7]	28,8 [17,4; 41,5]	39,3 [26,5; 50,9]	$Z_{1-3} = 0,070; p = 0,943$ $Z_{2-3} = 3,372; p = 0,0007$ $Z_{1-2} = 2,489; p = 0,0128$
LF, %	34,3 [20,3; 45,5]	28,5 [21,7; 37,9]	28,6 [21,5; 37,0]	$Z_{1-3} = 2,329; p = 0,0083$ $Z_{2-3} = 0,550; p = 0,9071$ $Z_{1-2} = 2,674; p = 0,0074$
VLF, %	31,3 [22,1; 39,0]	34,9 [24,5; 50,8]	26,9 [18,4; 40,1]	$Z_{1-3} = 2,377; p = 0,0174$ $Z_{2-3} = 4,305; p = 0,0017$ $Z_{1-2} = 1,724; p = 0,1064$
LF/HF, у. е.	1,03 [0,6; 1,8]	0,99 [0,6; 1,8]	0,77 [0,4; 1,2]	$Z_{1-3} = 2,350; p = 0,0187$ $Z_{2-3} = 2,134; p = 0,0328$ $Z_{1-2} = 0,884; p = 0,3763$

Примечание. Здесь и далее полужирным начертанием выделены статистически значимые различия.

(табл. 3). У бегунов на средние дистанции в соревновательный период превалировало влияние VLF-диапазона, а анализ симпатико-парасимпатического равновесия выявил выраженную активацию симпатического отдела ($VLF > LF >$

$> HF$): возросли относительный вклад LF-волн с 28,5 до 33,9 % ($p = 0,0001$), удельный вес мощности VLF-волн с 34,9 до 42,7 % ($p = 0,0003$) за счет снижения относительной мощности HF-волн ($p = 0,0318$), отмечено по-

Таблица 3

Спектральный анализ ВСП у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции, в различные периоды годового цикла подготовки, $Me [Q_1; Q_3]$

Spectral analysis of heart rate variability in athletes specializing in racing different distances during different phases of the annual training cycle, $Me [Q_1; Q_3]$

Показатель	Подготовительный период (1)	Соревновательный период (2)	Восстановительный период (3)	Z, p
<i>Спринтеры (n = 40)</i>				
HF, %	33,4 [21,3; 42,7]	28,3 [16,6; 38,6]	35,5 [22,2; 50,6]	$Z_{1-2} = 2,795; p = \mathbf{0,0051}$ $Z_{1-3} = 1,486; p = 0,1372$ $Z_{2-3} = 3,458; p = \mathbf{0,0005}$
LF, %	34,3 [20,3; 45,5]	38,9 [27,4; 43,0]	34,5 [19,7; 36,2]	$Z_{1-2} = 3,004; p = \mathbf{0,0027}$ $Z_{1-3} = 2,016; p = \mathbf{0,0437}$ $Z_{2-3} = 3,346; p = \mathbf{0,0008}$
VLF, %	31,3 [22,1; 39,0]	32,8 [22,7; 44,9]	29,7 [20,1; 35,3]	$Z_{1-2} = 1,599; p = 0,1094$ $Z_{1-3} = 0,572; p = 0,5672$ $Z_{2-3} = 1,196; p = 0,2315$
<i>Средневики (n = 38)</i>				
HF, %	28,8 [17,4; 41,5]	25,8 [16,6; 34,1]	30,1 [18,8; 45,1]	$Z_{1-2} = 2,146; p = \mathbf{0,0318}$ $Z_{1-3} = 1,123; p = 0,2610$ $Z_{2-3} = 3,368; p = \mathbf{0,0007}$
LF, %	28,5 [21,7; 37,9]	33,9 [25,8; 38,2]	29,3 [25,8; 40,3]	$Z_{1-2} = 3,828; p = \mathbf{0,0001}$ $Z_{1-3} = 3,161; p = \mathbf{0,0015}$ $Z_{2-3} = 1,059; p = 0,2891$
VLF, %	34,9 [24,5; 50,8]	42,7 [27,1; 54,8]	32,1 [19,1; 40,6]	$Z_{1-2} = 3,567; p = \mathbf{0,0003}$ $Z_{1-3} = 0,971; p = 0,3311$ $Z_{2-3} = 4,120; p = \mathbf{0,0003}$
<i>Стайеры (n = 45)</i>				
HF, %	39,3 [26,5; 50,9]	33,8 [23,8; 44,9]	40,9 [26,6; 57,8]	$Z_{1-2} = 2,601; p = \mathbf{0,0092}$ $Z_{1-3} = 0,812; p = 0,4163$ $Z_{2-3} = 2,519; p = \mathbf{0,0117}$
LF, %	28,6 [21,5; 37,0]	31,6 [21,7; 38,0]	26,3 [18,9; 37,6]	$Z_{1-2} = 1,382; p = 0,1667$ $Z_{1-3} = 0,225; p = 0,8213$ $Z_{2-3} = 1,119; p = 0,2631$
VLF, %	26,9 [18,4; 40,1]	30,2 [19,4; 44,6]	25,5 [18,4; 40,7]	$Z_{1-2} = 2,155; p = \mathbf{0,0311}$ $Z_{1-3} = 0,903; p = 0,3665$ $Z_{2-3} = 0,206; p = 0,8365$

вышение LF/HF с 0,99 до 1,38 у. е. (на 41,4 %). Соревновательные нагрузки у стайеров увеличивали относительный вклад LF-волн с 28,6 до 31,5 % (без достижения статистически значимого уровня), удельный вес VLF-волн с 26,9 до 30,2 % ($p = 0,0311$) за счет снижения вклада HF-волн с 39,3 до 33,8 % ($p = 0,0092$), однако активация симпатического отдела не изменила характер симпато-парасимпатических соотношений и вклад всех составляющих волн в общий спектр ($VLF < LF < HF$). При этом, несмотря на повышение LF/HF с 0,77 до 0,83 у. е., видно, что на этом этапе еще превалировало влияние HF-диапазона при умеренной симпатикотонии.

В восстановительный период у спортсменов всех групп отмечена стабилизация регуляции сердечного ритма: зафиксированы рост TP, оптимальный баланс отделов вегетативной нервной системы (ВНС) (снижение LF/HF). У спринтеров в восстановительный период вклад HF-волн составил 35,4 %, что незначительно превышало исходное значение (33,4 %), вклад LF-волн – 34,5 %, т. е. вернулся к уровню подготовительного периода (34,3 %), вклад VLF-волн – 29,7 %, что, напротив, было ниже уровня, зарегистрированного в подготовительный период (31,3 %). У средневиков в восстановительный период вклад HF-волн составил 30,1 %, вклад LF-волн – 29,3 %, что превышало значение подготовительного периода, а VLF-волн – 32,1 %, что, напротив, было ниже уровня, зарегистрированного в подготовительный период (31,3 %). У стайеров в восстановительный период вклад HF-волн составил 40,93 %, что незначительно превышало исходное значение (39,3 %), вклад LF и VLF-волн – 26,3 и 25,5 % соответственно, что, напротив, было ниже уровня, зарегистрированного в подготовительный период (28,6 и 26,9 %).

Обсуждение. Динамика показателей BCP на разных этапах подготовки у спринтеров указывала на высокий мобилизационный потенциал спортсменов данной группы. Выраженная активация симпатического отдела ВНС в со-

ревновательный период, воздействуя в основном на желудочковую мускулатуру, повышала ее сократительную способность, увеличивала частоту и скорость проведения возбуждения, возбудимость синоатриального узла, что позволяло миокарду как функциональной системе во время соревнований мгновенно включаться в работу на максимальной мощности (спринтерский бег).

Динамика показателей BCP с ростом интенсивности физических нагрузок у средневиков указывала на переход регуляции сердечного ритма с рефлекторного на гуморально-метаболический. На сегодняшний день механизм влияния очень низкочастотных колебаний (увеличение удельного веса VLF-волн) на модуляцию сердечного ритма изучен недостаточно полно. По мнению ряда авторов, регуляция ВНС посредством роста активности VLF-волн и симпатического отдела в меньшей степени способна обеспечивать оптимальный гомеостаз [7, 8]. Однако существует и иная точка зрения, согласно которой преобладание VLF-волн в общем спектре может отражать влияние на миокард катехоламинов, в т. ч. немедиаторного происхождения [12, 13]. Физические нагрузки, сопряженные с выраженным метаболическим ацидозом, формируют адаптивную способность миокарда к синтезу ацетилхолина, который обладает мощной антиоксидантной защитой. Указанные адаптивные изменения в функционировании миокарда способны предотвратить повреждения кардиомиоцитов и улучшить его производительность в условиях снижения рН и большого количества циркулирующих метаболитов [12]. В нашем исследовании медиана относительной мощности VLF-волн увеличивалась с повышением тренировочных нагрузок у бегунов на средние дистанции.

Динамика BCP у стайеров продемонстрировала, что активация симпатического отдела в соревновательный период не изменила характер симпато-парасимпатических соотношений и вклад всех составляющих волн в общий спектр. Очевидно, что соревновательная

нагрузка является мощным стресс-фактором, воздействующим на организм спортсмена двумя взаимосвязанными путями: «гипоталамус–гипофиз–кора надпочечников» и через симпатический отдел ВНС [14]. При этом парасимпатический отдел ВНС, напротив, подавляет активацию симпатoadреналовой системы. Таким образом, стресс возникает, когда физиологические потребности организма перестают удовлетворяться должным образом со стороны парасимпатической нервной системы [15]. Исходя из этого, можно заключить, что физические нагрузки в зоне большой и умеренной мощности большой продолжительности (бег на длинные дистанции) способствуют достижению функционального оптимума, который выражается в переходе к более стабильной регуляции сердечного ритма за счет снижения влияний на пейсмекерную активность синусового узла, даже в условиях стресса (соревновательной деятельности).

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. У бегунов на короткие дистанции на подготовительном этапе тренировочного процесса отмечен равный вклад симпатических и парасимпатических влияний при незначительном доминировании низкочастотных волн в общем спектре и высоких значениях ТР (умеренная симпатикотония). При этом медиана LF/HF составляла 1,03 у. е., т. е. имела пограничное значение между симпатическим и парасимпатическим влиянием на ритм сердца. В соревновательный период отмечалась выраженная активация симпатического отдела: увеличился относительный вклад LF-волн в общий спектр ритма сердца ($p = 0,0027$) за счет снижения относительной мощности HF-волн ($p = 0,0051$) и без существенного изменения относительной мощности VLF-волн, при этом повысилось отношение LF/HF на 120,4 %, что указывает на высокий мобилизационный потенциал спортсменов данной группы.

2. У бегунов на средние дистанции на подготовительном этапе тренировочного процесса отмечена умеренная симпатикотония:

при высоких значениях ТР зафиксировано незначительное преобладание VLF-волн при равном вкладе LF- и HF-волн. Отношение LF/HF имело пограничное значение между симпатическим и парасимпатическим влиянием на ритм сердца (0,99 у. е.). Анализ симпатико-парасимпатического равновесия в соревновательный период выявил выраженную активацию симпатического отдела: увеличился относительный вклад LF-волн ($p = 0,0001$), возрос удельный вес VLF-волн ($p = 0,0003$) за счет снижения вклада HF-волн ($p = 0,0318$), LF/HF повысилось на 41,4 %. Динамика показателей ВСР указывает на переход регуляции сердечного ритма на гуморально-метаболический, что может расцениваться как защитная реакция миокарда в условиях метаболического ацидоза.

3. У бегунов на длинные дистанции на подготовительном этапе тренировочного процесса волновая структура характеризовалась парасимпатикотонией: отмечены самые высокие значения ТР ($p = 0,0001$), более низкие значения относительной мощности LF- и VLF-волн, LF/HF составляло 0,77 у. е., т. е. у спортсменов данной группы доля влияний на пейсмекерную активность синусового узла была наименьшей. В соревновательный период возрос относительный вклад LF-волн без достижения статистически значимых различий, увеличился удельный вес VLF-волн ($p = 0,0311$) за счет снижения относительной мощности HF-волн ($p = 0,0092$), однако активация симпатического отдела не изменила характер симпатико-парасимпатических соотношений и вклад всех составляющих волн в общий спектр. При этом, несмотря на повышение LF/HF с 0,77 до 0,83 у. е., отмечено доминирование HF-диапазона. Динамика показателей ВСР позволяет заключить, что физические нагрузки в зоне большой и умеренной мощности большой продолжительности (бег на длинные дистанции) способствуют формированию стабильной регуляции сердечного ритма за счет снижения влияний на пейсмекерную активность синусового узла, даже в условиях стресса (соревновательной деятельности).

Выявленные особенности вегетативной регуляции сердечного ритма у спортсменов, специализирующихся в беге на разные дистанции, могут рассматриваться как физиологические маркеры адаптации к нагрузкам разной интенсивности и продолжительности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

1. Быков Е.В., Балберова О.В., Чипышев А.В., Сидоркина Е.Г. Особенности функциональной подготовленности спортсменов циклических видов спорта с разной спецификой тренировочного процесса // Вестн. МГПУ. Сер.: Естеств. науки. 2020. № 2(38). С. 78–89.
2. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis // Sports Med. 2016. Vol. 46, № 10. P. 1461–1486. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>
3. Proietti R., di Fronso S., Pereira L.A., Bortoli L., Robazza C., Nakamura F.Y., Bertollo M. Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players // J. Strength Cond. Res. 2017. Vol. 31, № 6. P. 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001795>
4. Быков Е.В., Балберова О.В. Вариабельность сердечного ритма как индикатор высокой спортивной результативности в ходьбе на длинных дистанциях // Актуальные проблемы и современные тенденции развития спортивной подготовки в циклических видах спорта: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти проф. Г.В. Цыганова, прошедшей в рамках Десятилетия науки и технологий. Казань: Поволж. гос. ун-т физ. культуры, спорта и туризма, 2023. С. 37–42.
5. Manresa-Rocamora A., Sarabia J.M., Javaloyes A., Flatt A.A., Moya-Ramón M. Heart Rate Variability-Guided Training for Enhancing Cardiac-Vagal Modulation, Aerobic Fitness, and Endurance Performance: A Methodological Systematic Review with Meta-Analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. Vol. 18, № 19. Art. № 10299. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910299>
6. Гаврилова Е.А. Патология сердца, индуцированная физическими нагрузками. Обзор зарубежной литературы // Безопасный спорт-2023: материалы X Междунар. конгр. СПб.: Сев.-Зап. гос. мед. ун-т им. И.И. Мечникова, 2023. С. 90–94.
7. Шлык Н.И., Гаврилова Е.А. Брадикардия и вариабельность сердечного ритма у спортсменов // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № S1. С. 59–69.
8. Rudics E., Buzás A., Pálfi A., Szabó Z., Nagy Á., Hompoth E.A., Dombi J., Bilicki V., Szendi I., Dér A. Quantifying Stress and Relaxation: A New Measure of Heart Rate Variability as a Reliable Biomarker // Biomedicines. 2025. Vol. 13, № 1. Art. № 81. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13010081>
9. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И., Дмитриева С.Л. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы) // Вят. мед. вестн. 2011. № 3–4. С. 60–70.
10. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart Rate Variability Analysis: Physiological Foundations and Main Methods // Cardiometry. 2017. № 10. P. 66–76.
11. Жгир Б.А., Кудря О.Н. Метаболическая стоимость бега на горизонтальной и наклонной поверхностях у высококвалифицированных бегуний на длинные дистанции в условиях среднегорья // Уч. зап. ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2021. № 12(202). С. 157–160.
12. Катаев Д.А., Циркин В.И., Кишкина В.В., Трухина С.И., Трухин А.Н. Природа общей мощности спектра и очень низкочастотных волн кардиоинтервалограммы с позиций адаптации организма человека к двигательной активности (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 1. С. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>
13. Kakinuma Y. Characteristic Effects of the Cardiac Non-Neuronal Acetylcholine System Augmentation on Brain Functions // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, № 2. Art. № 545. <https://doi.org/10.3390/ijms22020545>

14. Dong J.-G. The Role of Heart Rate Variability in Sports Physiology (Review) // *Exp. Ther. Med.* 2016. Vol. 11, № 5. P. 1531–1536. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>

15. Kim H.-G., Cheon E.-J., Bai D.-S., Lee Y.H., Koo B.-H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature // *Psychiatry Investig.* 2018. Vol. 15, № 3. P. 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

References

1. Bykov E.V., Balberova O.V., Chipyshev A.V., Sidorkina E.G. Osobennosti funktsional'noy podgotovlennosti sportsmenov tsiklicheskih vidov sporta s raznoy spetsifikoy trenirovochnogo protsessa [Features of the Functional Preparedness of Athletes in Cyclic Sports with Different Specifics of the Training Process]. *Vestnik MGPU. Ser.: Estestvennye nauki*, 2020, no. 2, pp. 78–89.

2. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.*, 2016, vol. 46, no. 10, pp. 1461–1486. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2>

3. Proietti R., di Fronso S., Pereira L.A., Bortoli L., Robazza C., Nakamura F.Y., Bertollo M. Heart Rate Variability Discriminates Competitive Levels in Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.*, 2017, vol. 31, no. 6, pp. 1719–1725. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001795>

4. Bykov E.V., Balberova O.V. Variabel'nost' serdechnogo ritma kak indikator vysokoy sportivnoy rezul'tativnosti v khod'be na dlinnykh distantsiyakh [Heart Rate Variability as an Indicator of High Sports Performance in Long-Distance Race Walking]. *Aktual'nye problemy i sovremennyye tendentsii razvitiya sportivnoy podgotovki v tsiklicheskih vidakh sporta* [Current Problems and Trends in the Development of Training in Speed-Strength Sports]. Kazan, 2023, pp. 37–42.

5. Manresa-Rocamora A., Sarabia J.M., Javaloyes A., Flatt A.A., Moya-Ramón M. Heart Rate Variability-Guided Training for Enhancing Cardiac-Vagal Modulation, Aerobic Fitness, and Endurance Performance: A Methodological Systematic Review with Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 19. Art. no. 10299. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910299>

6. Gavrilova E.A. Patologiya serdtsa, indutsirovannaya fizicheskimi nagruzkami. Obzor zarubezhnoy literatury [Exercise-Induced Cardiac Pathology. A Review of Foreign Literature]. *Bezopasnyy sport-2023* [Safe Sports – 2023]. St. Petersburg, 2023, pp. 90–94.

7. Shlyk N.I., Gavrilova E.A. Bradycardia and Heart Rate Variability in Athletes. *Hum. Sport Med.*, 2023, vol. 23, no. S1, pp. 59–69 (in Russ.).

8. Rudics E., Buzás A., Pálfi A., Szabó Z., Nagy Á., Hompoth E.A., Dombi J., Bilicki V., Szendi I., Dér A. Quantifying Stress and Relaxation: A New Measure of Heart Rate Variability as a Reliable Biomarker. *Biomedicine*, 2025, vol. 13, no. 1. Art. no. 81. <https://doi.org/10.3390/biomedicine13010081>

9. Khodyrev G.N., Khlybova S.V., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Metodicheskie aspekty analiza vremennykh i spektral'nykh pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literatury) [Methodological Aspects of Analysis of Temporal and Spectral Parameters of Heart Rate Variability (Review)]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2011, no. 3–4, pp. 60–70.

10. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart Rate Variability Analysis: Physiological Foundations and Main Methods. *Cardiometry*, 2017, no. 10, pp. 66–76.

11. Zhgir B.A., Kudrya O.N. Metabolicheskaya stoimost' bega na gorizonta'lnoy i naklonnoy poverkhnostyakh u vysokokvalifitsirovannykh beguniy na dlinnye distantsii v usloviyakh srednegor'ya [The Metabolic Cost of Horizontal and Incline Running in Highly Skilled Long Distance Runners in Mid-Altitude Conditions]. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2021, no. 12, pp. 157–160.

12. Kataev D.A., Tsirkin V.I., Kishkina V.V., Trukhina S.I., Trukhin A.N. The Nature of Total Power and Very Low Frequency Waves on the Interval Electrocardiogram from the Standpoint of the Human Body's Adaptation to Motor Activity (Review). *J. Med. Biol. Res.*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 95–107. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z134>

13. Kakinuma Y. Characteristic Effects of the Cardiac Non-Neuronal Acetylcholine System Augmentation on Brain Functions. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 2. Art. no. 545. <https://doi.org/10.3390/ijms22020545>

14. Dong J.-G. The Role of Heart Rate Variability in Sports Physiology (Review). *Exp. Ther. Med.*, 2016, vol. 11, no. 5, pp. 1531–1536. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>

15. Kim H.-G., Cheon E.-J., Bai D.-S., Lee Y.H., Koo B.-H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig.*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

Поступила в редакцию 28.02.2025 / Одобрена после рецензирования 18.04.2025 / Принята к публикации 22.04.2025.
Submitted 28 February 2025 / Approved after reviewing 18 April 2025 / Accepted for publication 22 April 2025.